

**幌延深地層研究計画
平成28年度調査研究成果報告
(概要版)**

平成29年7月

**日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター**

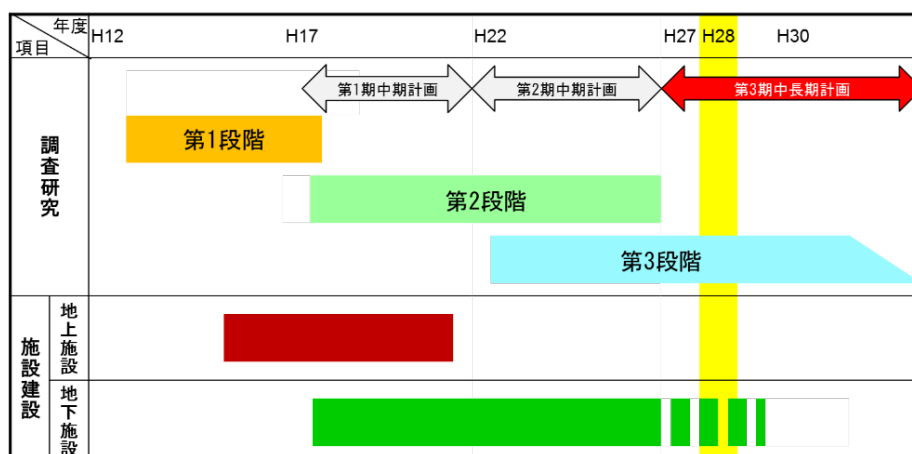
1. はじめに

幌延深地層研究計画は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）が、堆積岩を対象とした深地層の研究を北海道幌延町で実施しているものです。

「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画（中長期計画）（平成27年4月1日～平成34年3月31日）」（以下、第3期中長期計画）では、幌延深地層研究計画における研究開発として、「実際の地質環境における人工バリア*1の適用性確認」、「処分概念オプションの実証」、「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」の3つの課題（以下、「必須の課題」）を重点的に取り組むこととしています。

幌延深地層研究計画は、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの段階に分けて実施しています（図 1）。

平成28年度は、地下施設での調査研究段階（第3段階）として、第3期中長期計画に掲げた必須の課題を達成していくための調査研究を実施しました。



- 第1段階：地上からの調査研究段階
 - 第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階
 - 第3段階：地下施設での調査研究段階
- ※平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

図 1 幌延深地層研究計画の全体スケジュール

※本概要版中の図表番号については、報告書本体と同じ番号としています。

*1：ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、工学的に形成するものです。

2. 平成 28 年度の主な調査研究の成果

平成28年度は、「幌延深地層研究計画 平成28年度調査研究計画」にしたがって、必須の課題に関わる調査研究および地下施設の維持管理等を進めました。

調査研究は、必須の課題を重点に取り組むとともに、必須の課題に関わる調査研究の基礎情報となる、坑道周辺の掘削影響領域を含む地質環境特性の長期的な変化や地質環境情報に関するデータの取得などを継続しました。

地下施設の維持管理等では、安全パトロールによる現場の安全確保の徹底、機械設備等の点検保守・修繕などの維持管理および当センター周辺の環境調査などを継続しました。

3. 以降に、平成28年度に実施した主な調査研究（図2）の成果の一例を示します。また、地下施設の維持管理や環境モニタリングなどの概要を示します。

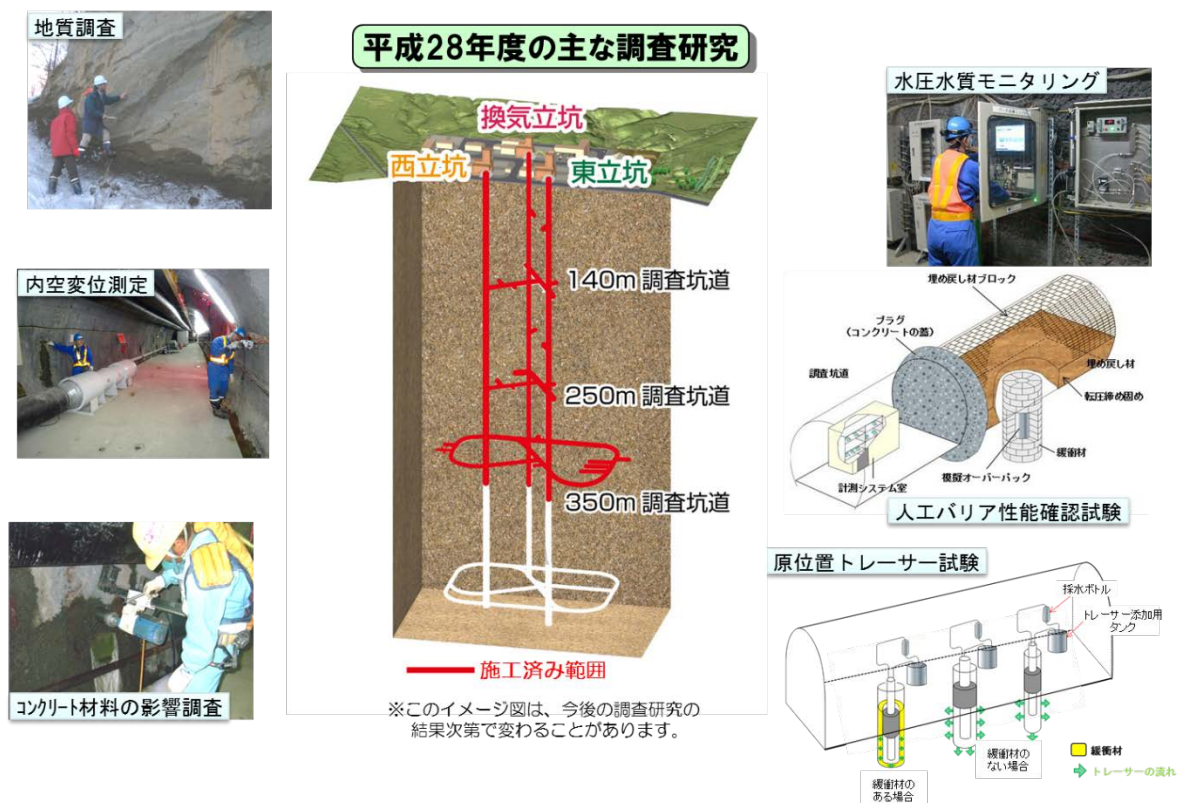


図 2 平成28年度の主な調査研究

必須の課題

○実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

実際の地質環境において人工バリアや周辺岩盤中での熱－水理－力学－化学連成挙動^{*2}や物質の移動現象などを計測・評価する技術の適用性を確認するため、深度 350m 調査坑道での人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験および物質移行試験を継続しました。人工バリア性能確認試験 (p. 7～8) およびオーバーパック腐食試験では、地下水の浸潤状況、オーバーパックの腐食状況、温度、応力、化学特性などに関する計測を継続しました。また、物質移行試験では、岩盤中の亀裂の有無の違いを考慮しながらトレーサーを利用した試験を実施し、物質の移行挙動に関する特性を把握しました (p. 10～11)。

○処分概念オプションの実証

種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証することを通じて、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを整備、提供するため、人工バリアの定置・品質確認などの実証試験のひとつとして、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究において、地下環境での搬送定置・回収技術の実証試験に向け、試験坑道の整備を行いました (p. 9)。また、これまでのグラウト施工実績に基づき、グラウト効果の予測シミュレーション技術の開発を継続しました (p. 6)。

○地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

堆積岩が有する地震・断層活動などの地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を評価するため、断層の透水性と岩石の強度・応力状態との関係の解明を目指した研究を継続しました。また、一時的な水圧上昇が割れ目の水理特性に与える影響を確認するために、通常よりも高い注入圧を用いた透水試験 (水圧擾乱試験) を実施する準備を進めました (p. 4)。

*2: 地下環境に設置された廃棄体の周辺の緩衝材や岩盤には廃棄体からの熱、地下水との反応、岩盤から (または岩盤へ) 作用する応力、化学的な変化 (緩衝材中の間隙水の水質の変化など) などによる影響が懸念されています。実際の処分環境では、これらの影響が複合的に発生すると考えられ、その挙動を、熱－水理－力学－化学連成挙動と呼んでいます。

3. 地層科学研究

○地質環境調査技術開発

岩盤の水理

断層の透水性と岩石の強度・応力状態との関係の解明を目指した研究を継続し、断層のせん断^{*3}変形が断層の水理特性に与える影響を確認することを目的とした、通常よりも高い注入圧を用いた透水試験（水圧擾乱試験）に着手しました。断層を対象とした本試験に先立って、まずは小規模なせん断割れ目を対象に、予備試験を実施しました。予備試験では、設定した試験区間の水圧を段階的に上昇させ、各段階における注入流量と試験区間の透水性を求めました。その結果、6.5MPa程度まで上昇させた時点で注入流量および試験区間の透水性がともに増加し、水圧を6.0MPa以下にすると、注入流量および透水性は元の値近くまで戻ることが確認できました（図 17）。この結果はせん断割れ目内に生じたせん断変形による一時的な空隙形成が原因と考えられます。

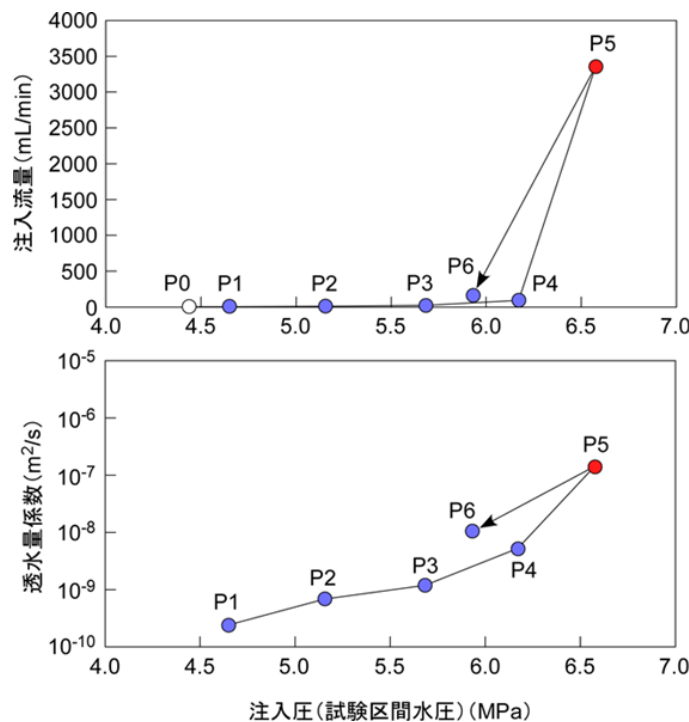


図 17 水圧擾乱試験時における注入流量と注入圧（上段）および試験区間の透水性と注入圧（下段）の関係

*3：岩盤などの内部の任意の面に対して平行方向に力が作用してずれが生じることをいいます。

地下水の地球化学

必須の課題への取り組みにあたっては、基礎情報となる地質環境に関するデータ取得が必要になります。これらは地層科学研究として実施しており、地球化学に関する調査としては、坑道周辺の掘削影響領域を含む地質環境における岩盤の地球化学的特性や地下水の水質、微生物、ガス、コロイドおよび有機物に関わるデータ取得を行っています。

平成 28 年度は、坑道周辺の岩盤を対象に坑道掘削後の経過年数と岩盤の酸化還元状態との関係を把握するための予察的な調査を行いました。調査は、坑道掘削後の経過年数が異なる 140m（坑道掘削後 7 年経過）、250m（坑道掘削後 6 年経過）および 350m（坑道掘削後 3 年経過）調査坑道で行いました。調査にあたり、坑道壁面からコア試料を採取する際には健岩部^{*4}を対象にしました。コア試料の長さは、坑道掘削に伴う割れ目の影響範囲に相当する 1m 程度とし、2~10cm ごとに区切って分析に供しました。色調分析^{*5}の結果、坑道掘削後の経過年数や坑道壁面からの距離によらず、コア試料の色調に明瞭な差は認められませんでした。走査型電子顕微鏡^{*6}での観察の結果からは、コア試料中には、坑道掘削後の経過年数や坑道壁面からの距離によらず、還元環境で安定に存在する黄鉄鉱^{*7}が含まれることがわかりました（図 22）。これらの結果は、坑道周辺における岩盤の酸化がほとんど生じていないことを示唆します。

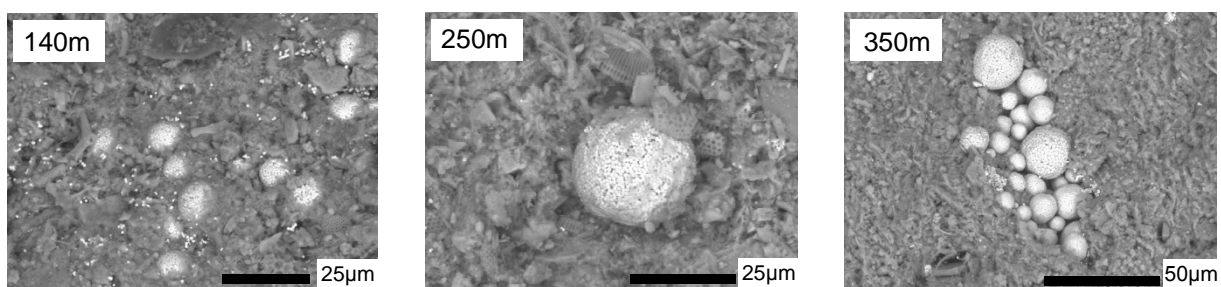


図 22 走査型電子顕微鏡により観察された黄鉄鉱の様子

図中の丸い塊が黄鉄鉱（球顆状の結晶）です。

*4：割れ目や変質のない岩盤の部分を行います。

5：試料の明度（L）と色彩（a*およびb*）を測定します。酸化が進んだ岩石ほど a*および b*が高い値を示すことが報告されています。

*6：試料に電子ビームを照射し、放出される二次電子を検出して観察を行う顕微鏡です。最小で1µm（1mmの1000分の1）程度の大きさの対象を観察できます。

*7：化学組成 FeS₂ で表される鉱物で、酸化環境では容易に溶解します。

○深地層における工学的技術の基礎の開発

深度 250m 以深の換気立坑掘削前に実施した透水性の高い断層部へのグラウト施工実績に基づき、有限要素法を用いたシミュレーションを行い、原位置透水試験との比較による解析結果の妥当性確認及び止水効果について検証しました。

解析の結果、グラウト濃度分布（図 45）に示すとおり、A7 孔で認められる断層部を中心にグラウト材が高濃度で注入されることが示されました。さらに施工後の透水係数の分布（図 46）では、断層部の透水係数が $1.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 前後を示しており、初期値 ($5.75 \times 10^{-5} \text{m/s}$) から、4 オーダー程度改善される結果となりました。この解析結果は、グラウト施工完了後に実施した簡易的な透水試験結果に概ね整合しており、解析の妥当性が示されました。

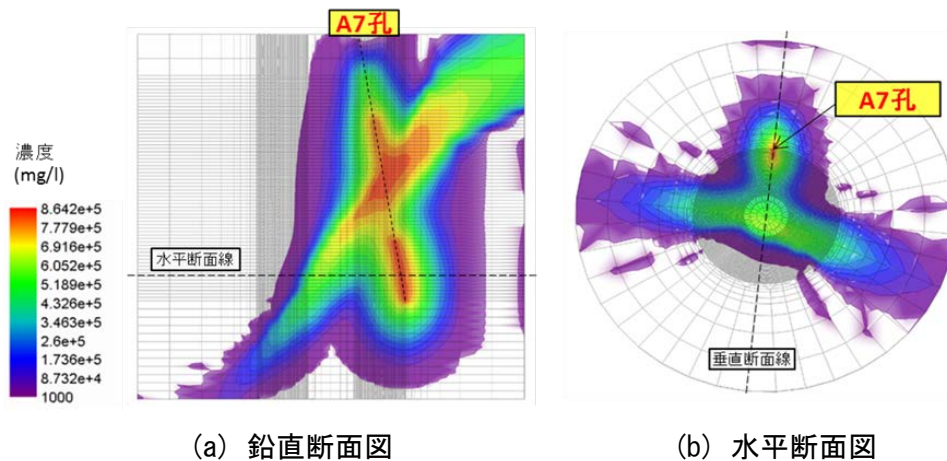


図 45 解析結果（グラウト材の濃度分布）

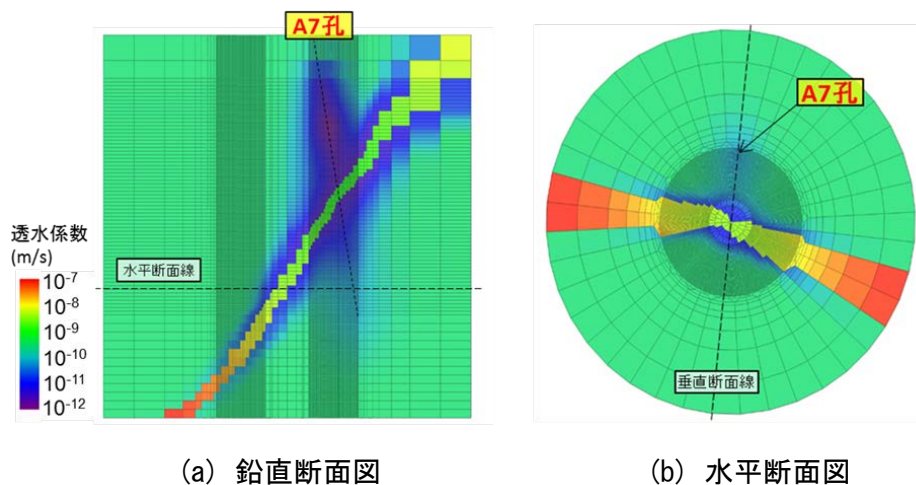


図 46 解析結果（透水係数の分布）

4. 地層処分研究開発

○処分技術の信頼性向上

人工バリア性能確認試験

深度350m調査坑道の試験坑道4における人工バリア性能確認試験（図55）は、幌延を事例として、①地層処分研究開発の第2次取りまとめ報告書で示した処分概念が実際の地下で構築できることの実証、②人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認、③熱－水理－力学－化学連成挙動に係るデータの取得を目的として実施するものです。

平成28年度は、平成26年度に開始した加熱および注水を継続し、データの取得を継続しました。注水は、加熱開始の翌日（2015年1月16日）から開始し、急激な注水による緩衝材の流出現象などを避けるために、最初は150 mL/minと設定し、各センサーの計測値などを見ながら、注水量を増加させてきました。平成28年10月からは緩衝材への注水量を約1000mL/minに設定しています（図56）。図57に緩衝材5段目の温度分布の経時変化を示します。加熱を始めてから徐々に上昇し、123日以降ほぼ同じ温度を示していましたが、781日時点ではわずかに温度が低下する傾向が見られました。これは注水量の増加による影響と考えられます。

今後は各種センサーによる計測を継続し、データの拡充および計測センサーの長期性能の確認を行うとともに、解析的な検討もあわせて実施していきます。

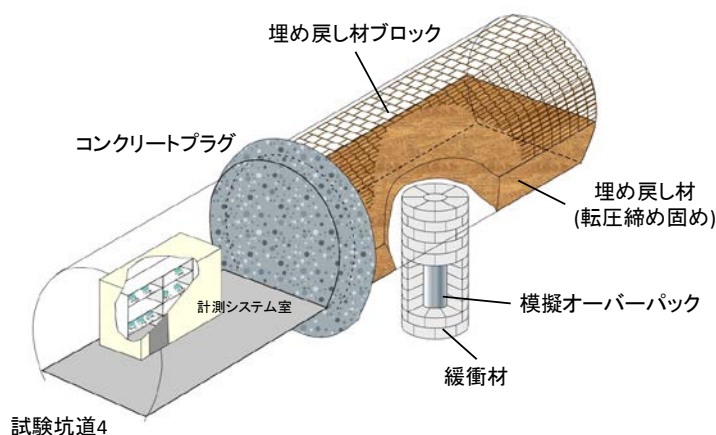


図 55 人工バリア性能確認試験の概念図

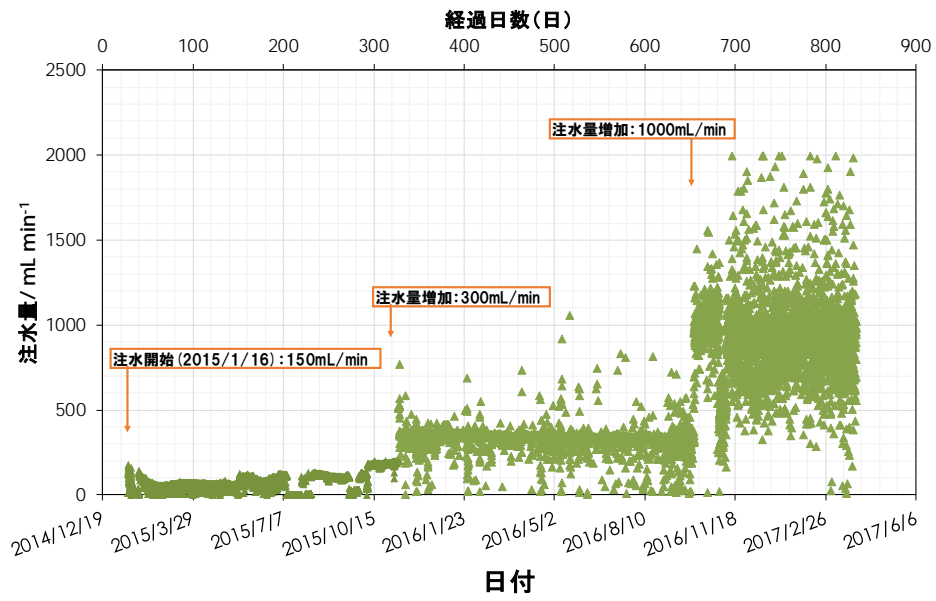


図 56 緩衝材への注水量の経時変化

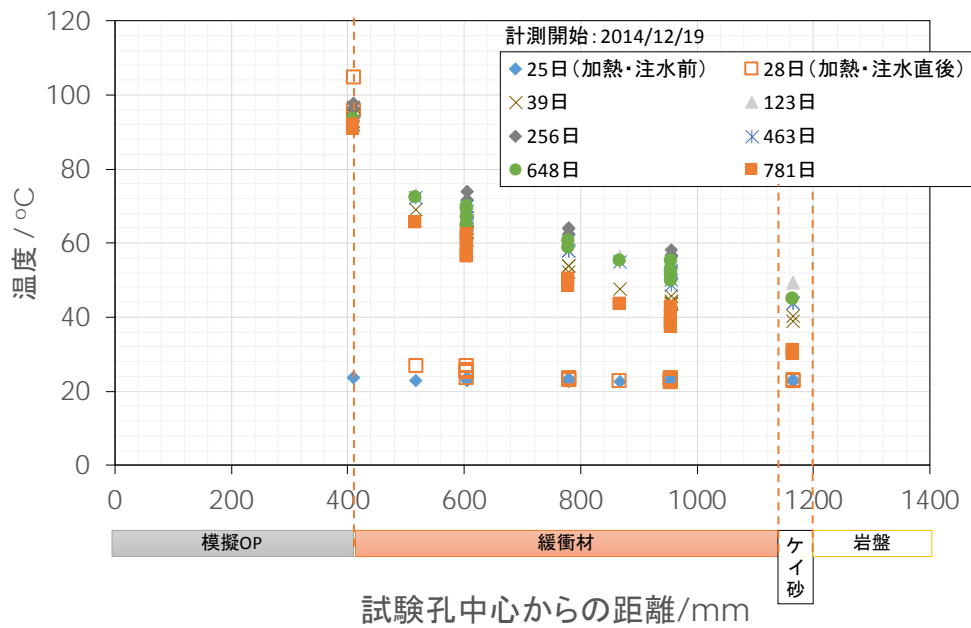


図 57 緩衝材 (5 段目) の温度分布

地下環境での搬送定置・回収試験に向けた施設の整備

原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究として、地下環境での搬送定置・回収技術に関する研究を継続しました。地下環境での搬送定置・回収技術の実証試験は、平成26年度までに同センターとの共同研究として実施してきた地層処分実規模試験施設を活用した工学技術に関する研究で計画していたものです。

平成28年度は、地下実証試験の実施場所として選定した試験坑道2の整備を行いました。具体的には、処分坑道横置き定置方式の搬送定置・回収技術の実証試験に向けて、試験坑道内にコンクリート製の坑道面の施工や資材を仮置きするための作業台の設置などの工事を実施しました（写真 4）。



(a) 整備前



(b) 整備後

写真 4 実証試験に向けた試験坑道 2 の整備の様子

○安全評価手法の高度化

健岩部を対象とした物質移行試験

平成 28 年度は地下水中の塩分濃度の違いによる健岩部における拡散／
収着 *8 挙動の違いを評価するための試験を行いました。試験にあたって
は、350m 調査坑道の底盤から 3m 程度のボーリング孔を鉛直方向に 3 本掘
削し、原位置トレーサー試験装置を設置し、3 孔それぞれで試験区間内の
塩化ナトリウム濃度を変化させた状態で、試験区間にトレーサーを循環
させて試験を行いました。試験の結果、セシウムおよび重水については、
各孔とも時間経過に伴い濃度が減衰しており、収着性のトレーサーであ
るセシウムの方が早い濃度減衰を示していることがわかりました（図
73）。また、ヨウ素については、試験開始から約 2 ヶ月の期間では、顕著
な濃度変化は確認できませんでした（図 73）。

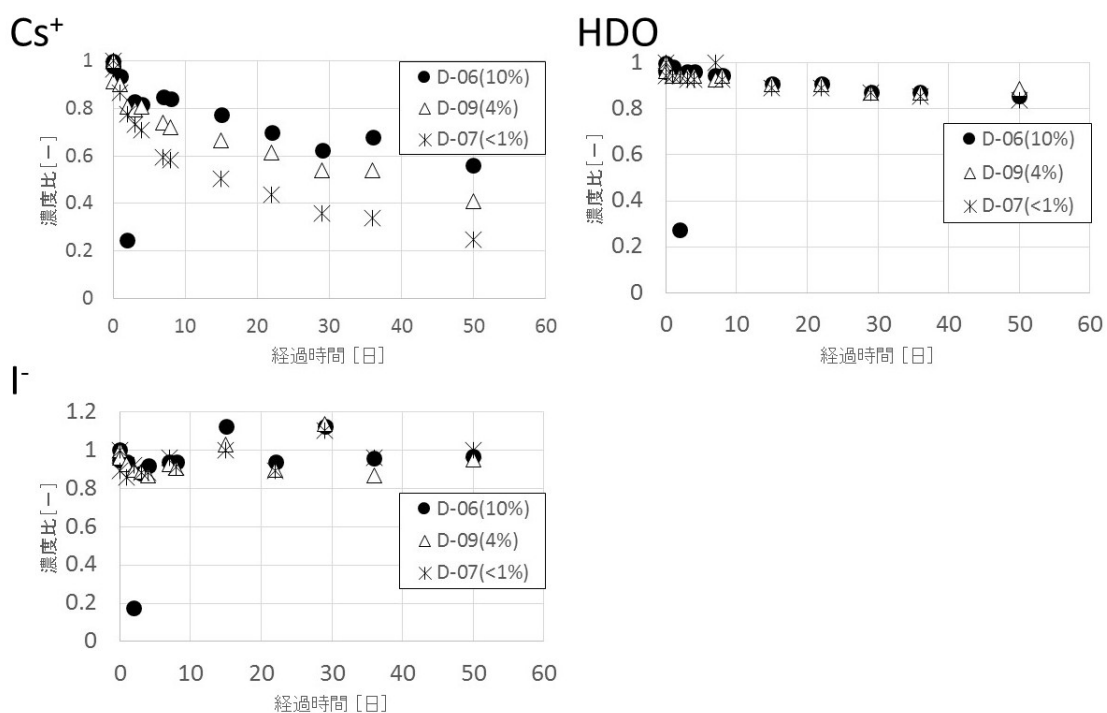


図 73 健岩部を対象とした原位置トレーサー試験の結果

濃度比は試験開始初期の濃度に対する比率を表しています。また、凡例の括弧内の数字は各孔の試験区間内の塩分濃度を示しています。

*8：地下水中にある元素が、岩盤などに取り込まれる現象です。

単一割れ目を対象とした物質移行試験

平成28年度は平成26年度に開始した、単一割れ目を対象とした物質移行試験を継続しました。具体的には、新たにボーリング孔を掘削し、非収着性トレーサーを用いたトレーサー試験を実施しました。トレーサー試験はトレーサー投入前の事前注水・揚水時間や注水・揚水流量などを変化させ、合計7ケースの試験を実施しました。結果の一例を図 77に示します。

注水流量と揚水流量を変化させることにより、結果のグラフの形状が変化していることが確認できます。これは、流量を変化させたことにより、トレーサーの移行経路が変化したことによる影響と考えられます。また、注水流量と揚水流量を同条件（注水流量 30mL/min、揚水流量 30mL/min）に設定した1回目と5回目を比較すると、同条件にも関わらず、結果に大きな違いが見られます。これは、試験の回数を重ねるごとに、割れ目内の充填物等が移動したことで、場の条件が変化したことが原因と考えられます。

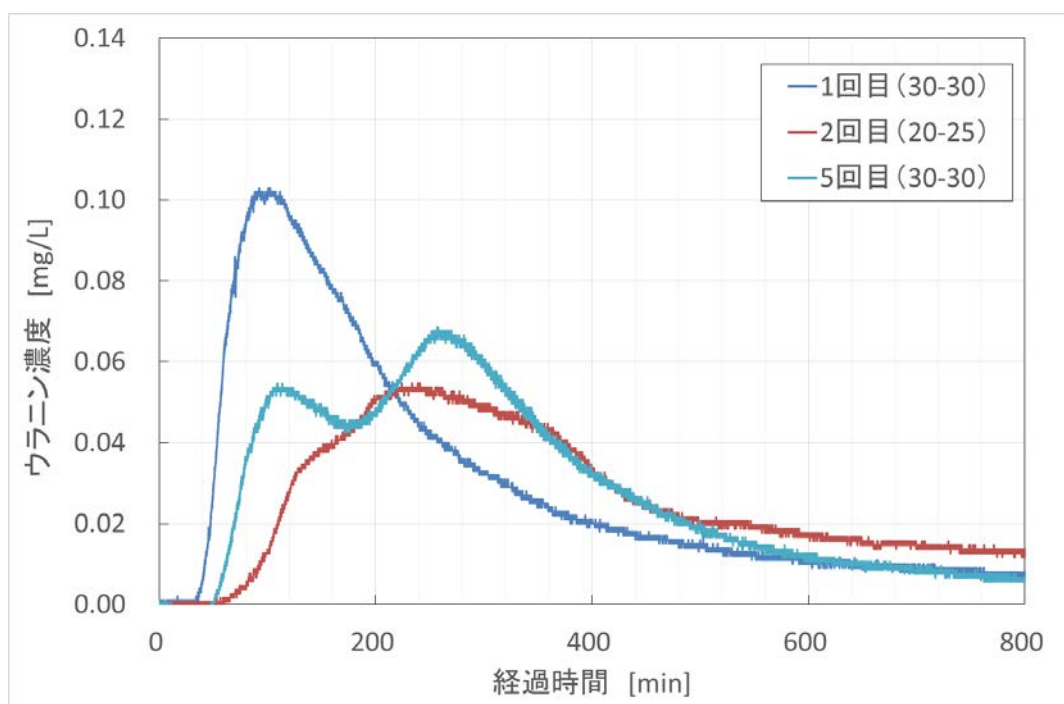


図 77 単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験の結果
(1回目、2回目、5回目)

凡例の括弧内の数字は注水流量と揚水流量（単位：mL/min）を示しています。

5. 地下施設の維持管理

平成28年度は、平成27年度に引き続き維持管理業務として、地下施設の機械設備や電気設備の点検保守・修繕などを行い、地下施設の安全性確保に努めました。主な業務内容としては、地下施設坑内に設置しているガス検知器の動作確認、工事用エレベータ設備の点検・整備などを実施しています（写真 6）。



写真 6 地下施設の維持管理状況（機械設備の点検・整備）

6. 環境モニタリング

排水処理前後の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について調査を行っています。また、掘削土(ズリ)置場の環境への影響を監視するため、清水川および掘削土(ズリ)置場周辺の地下水についても水質調査を行っています。これらの分析結果の詳細については、幌延深地層研究センターのホームページ*9で公開しています。水質モニタリング調査の結果、地下施設の建設による環境への影響は観測されませんでした。

平成27年度に引き続き、当センター周辺の環境影響調査として、図 85 に示す地点にて清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。平成28年度における各調査結果は、これまでと比較して大きな変化がないことを確認しています。

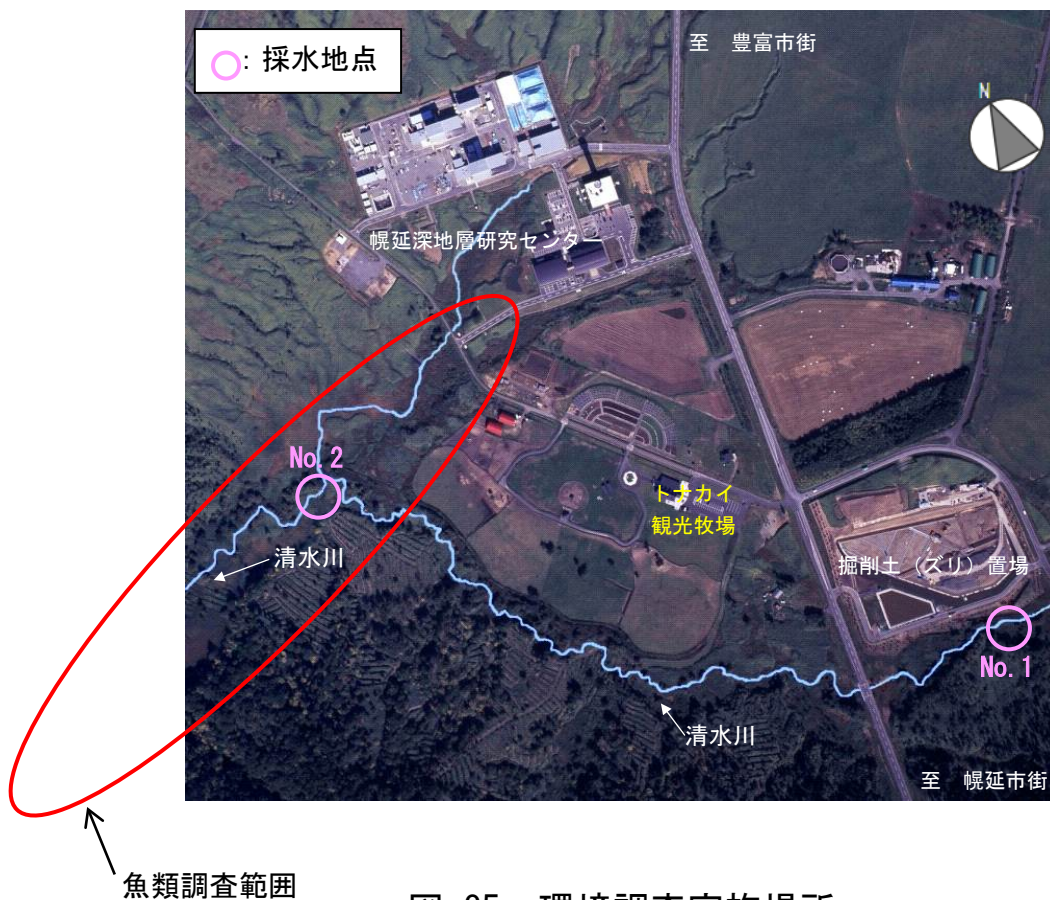


図 85 環境調査実施場所

*9 : <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/suishitsu.html>

7. 安全確保の取組み

安全確保の取組みとして、請負作業や共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善の指導を行いました。

そのほか、所長や保安・建設課などによる定期的な安全パトロールを実施し、継続的に現場の安全確認や改善などを指導しました（写真 14）。

さらに、新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施するほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も参加した安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました（写真 15）。



写真 14 安全パトロールの状況



写真 15 安全行事の状況
（安全大会）

8. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、以下に示す研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する国内外の研究機関や専門家の参加を得て進めています。

○国内機関との研究協力

◆ 大学などとの研究協力

- 北海道大学
堆積岩中における物質移行の評価に関する研究
- 室蘭工業大学
坑道壁面の地質観察に伴う三次元レーザスキャナデータの分析など

◆ その他の国内研究機関との研究協力

- 株式会社大林組
光計測技術による掘削影響領域の長期挙動計測とその評価
- 原子力環境整備促進・資金管理センター
搬送定置・回収技術の実証的検討に関する研究
人工バリア等の健全性評価及び無線計測技術の適用性に関する研究
- 電力中央研究所
地質・地下水環境特性評価に関する研究
- 産業技術総合研究所など
岩盤の水理・化学・生物連成現象に関わる研究
- 幌延地圏環境研究所
岩石・地下水中の微生物特性・化学特性の評価など

○国外機関との研究協力

- モンテリ・プロジェクト
鉄材料の腐食に関する原位置試験など